

Avaliação do desempenho térmico em quiosques de containers metálicos em Brasília

Assessment of thermal performance in metallic container kiosks in Brasília

Evaluación del desempeño térmico en quioscos de contenedores metálicos en Brasília

Recebido: 04/04/2022 | Revisado: 11/04/2022 | Aceito: 19/04/2022 | Publicado: 23/04/2022

Chenia Rocha Figueiredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8635-0797>
Universidade de Brasília, Brasil
E-mail: chenia@unb.br

Gessika Furtado Ximenes Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8367-4929>
Universidade de Brasília, Brasil
E-mail: gessika.ximenes.arq@gmail.com

Resumo

O projeto de arquitetura deve atender simultaneamente à eficiência energética e às condições de conforto do usuário. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece que o desempenho térmico da edificação deve ser avaliado em duas condições: desempenho no verão e desempenho no inverno. O critério da análise é baseado em valores máximos e mínimos de temperatura dos ambientes de permanência prolongada. Objetivando abordar os critérios propostos por norma, utilizou-se de simulações computacionais para criar diferentes cenários construtivos, incluindo chapas de aço de containers para construção de quiosques na cidade de Brasília. Foi observado nas simulações computacionais realizadas que os quiosques, por serem em aço, sofrem grande influência das temperaturas externas e da insolação, sendo necessário o uso de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. Observou-se que o uso de isolamentos térmicos é indispensável para a zona bioclimática de Brasília, onde a temperatura e a umidade relativa não são favoráveis, segundo as recomendações normativas. Dentre os cenários propostos na simulação, os que mostraram melhor desempenho foram o uso de cobertura adicional para se obter temperaturas mais amenas no verão e temperaturas internas mais agradáveis aos ocupantes no inverno, e paredes em gesso acartonado com isolamento térmico em lâ de rocha.

Palavras-chave: Container metálico; Desempenho térmico; Simulação computacional.

Abstract

The architecture design must meet both energy efficiency and user comfort conditions. NBR 15575-1 (ABNT, 2013) states that the thermal performance of the building must be assessed under two conditions: summer performance and winter performance. The analysis criteria is based on maximum and minimum temperature values of the extended-stay environments. In order to attempt the criteria proposed by the regulation, computer simulations were used to create different construction scenarios, including container steel sheets for supposed kiosks in Brasília city. It was observed in the computational simulations that the kiosks, because they are made of steel, suffer big influence of the external temperatures and of the insolation, being necessary the use of other strategies to improve the thermal performance. Knowing that, it is noticed that the use of thermal insulation is indispensable in Brasília bioclimatic zone, where, according to normative recommendations, temperature and relative humidity are not ideal. Among the scenarios proposed in the simulation, the containers that showed better performance were the ones that used an additional coverage and the ones that used drywall plasterboard with a rock wool insulation to obtain cooler temperatures in summer and more pleasant internal temperatures to the occupants in winter.

Keywords: Metallic container; Thermal performance; Computer simulation.

Resumen

El proyecto arquitectónico debe abordar simultáneamente las condiciones de eficiencia energética y confort del usuario. La NBR 15575-1 (ABNT, 2013) establece que el desempeño térmico del edificio debe ser evaluado bajo dos condiciones: desempeño en verano y desempeño en invierno. El criterio de análisis se basa en los valores de temperatura máxima y mínima de los ambientes a largo plazo. Para abordar los criterios propuestos por la norma, se utilizaron simulaciones informáticas para crear diferentes escenarios de construcción, incluidas láminas de acero de contenedores para la construcción de quioscos en la ciudad de Brasilia. Se observó en las simulaciones informáticas realizadas que los quioscos, por ser de acero, son muy influenciados por las temperaturas externas y la insulación, requiriendo el uso de estrategias para mejorar el desempeño térmico. Se observó que el uso de aislamiento térmico es fundamental para la zona bioclimática de Brasilia, donde la temperatura y la humedad relativa no son favorables, de acuerdo con las recomendaciones normativas. Entre los escenarios propuestos en la simulación, los que mostraron un

mejor desempeño fueron el uso de coberturas adicionales para obtener temperaturas más suaves en verano y temperaturas interiores más agradables para los ocupantes en invierno; y paredes de cartón yeso con aislamiento térmico de lana de roca.

Palabras clave: Envase metálico; Rendimiento térmico; Simulación por ordenador.

1. Introdução

A evolução da construção com containers direciona ao desenvolvimento de um novo sistema construtivo, baseado em um princípio de modulação espacial, no qual existe a possibilidade de encaixe e conexão entre os seus elementos, fundamentados na mobilidade, flexibilidade, mutabilidade e reciclagem.

Os aspectos de flexibilidade e aplicabilidade da construção geram inúmeras possibilidades de criação e modificação de ambientes, tornando os espaços multifuncionais e dinâmicos. Assim, a arquitetura com containers apresenta-se como uma alternativa na concepção de edificações flexíveis, possibilitando aos seus usuários a criação de espaços complacentes com as suas necessidades.

Eles servem para habitação, para almoxarifados e armazéns refrigerados, para acomodar escritórios administrativos e muito mais. Eles são versáteis e respeitam os princípios da sustentabilidade sendo ecologicamente corretos, pois eliminam o uso de matérias-primas para construções tradicionais e partem da reutilização de recursos; economicamente viáveis, pois exigem um baixo investimento em comparação a outras modalidades construtivas; e socialmente justos, pois são acessíveis a todos e promovem o bem-estar coletivo (em casos, por exemplo, de alojamentos ou refeitórios para colaboradores).

Essa tendência na arquitetura e na construção civil apresenta uma grande versatilidade, podendo ser utilizada em residências unifamiliares, habitações coletivas, hotéis, pousadas, restaurantes, entre outros. Esse modelo de construção tem sido utilizado também como postos militares, banheiros públicos e quiosques (Peña, *apud* Viana *et al.*, 2019). Os containers marítimos são os protagonistas de muitos estabelecimentos alimentícios, atendendo, inclusive, ao novo formato de pedidos delivery.

O container tem sido usado ainda como moradias temporárias em áreas afetadas por terremotos e/ou inundações, principalmente em países europeus e asiáticos (Caia *et al.*, 2010; Hong, 2017). Como moradia temporária, tem como objetivo atender ao maior número de pessoas rapidamente. Sendo assim, geralmente, essas habitações não envolvem instalações essenciais e não fornecem uma resposta ambiental adequada aos usuários (Félix *et al.*, 2013).

No entanto, containers são projetados para o transporte de cargas, sendo que seu uso como habitação provisória, ou não, deve seguir alguns critérios de forma a se tornarem mais eficazes.

Para isso, é necessário aliar aos containers um design diferenciado e estar de acordo com as normas, os códigos e as regras de ocupação da região. O aço que compõe os containers é um excelente condutor térmico, o que significa que a edificação está mais exposta às variações climáticas, o que inclui calor e frio extremos. Para adquirir conforto térmico adequado, os containers marítimos podem necessitar de um tratamento específico para garantir uma isolamento adequada, conforme o uso proposto.

O desempenho térmico envolve uma série de fatores para ser alcançado, como as variáveis pessoais, as variáveis psicológicas e, principalmente, as variáveis físicas ou ambientais. Nesta última é que estão englobados os dados climáticos, que são fundamentais para garantir o conforto térmico.

A avaliação do desempenho térmico é feita considerando as condições climáticas das zonas bioclimáticas brasileiras previstas na norma de desempenho térmico NBR 15220 (ABNT, 2005b), observando também os critérios da norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013).

Faz parte dos requisitos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o atendimento a níveis mínimos definidos para conforto térmico nas edificações. Para isso, são definidas metodologias de simulação térmica para ajustar aspectos da

construção ainda no projeto. As simulações permitem que os projetistas possam tomar decisões de forma preventiva, melhorar resultados e reduzir custos operacionais.

Nas simulações, o edifício é modelado em função da sua modelagem geométrica, implantação e sistemas construtivos. Através de softwares, como o *Energy Plus*, as temperaturas internas do edifício são calculadas e comparadas com os requisitos mínimos da norma. Estudos mais completos como uma simulação térmica ainda podem ajudar a entender o impacto dos materiais utilizados na envoltória do edifício e estudar alternativas para melhorar o conforto do usuário e a eficiência energética do edifício.

Diversos pesquisadores como Tanyer *et al.*, *apud* Viana *et al.* (2019), Gabriel (2021), Buges *et al.* (2014), Costa (2015), Krebs *et al.* (2015), Rancura e Alves (2016), Viana (2018), Moura (2019) e De Souza *et al.* (2019) avaliaram a estanqueidade, a eficiência energética de habitações em containers, o desempenho térmico por meio de simulações numéricas ou experimentais no Brasil e no mundo, no entanto, dentre esses trabalhos, ainda existem lacunas com relação ao desempenho térmico em quiosques de uso comercial construídos com uso de chapas de containers marítimos no Distrito Federal, considerando a amplitude geográfica nacional.

2. Desempenho Térmico

O conceito de desempenho na construção civil está associado ao comportamento em uso nas edificações, dentro de determinadas condições. O desafio mundial é que este comportamento atenda às expectativas dos usuários das edificações ao longo de uma determinada vida útil e dentro da realidade técnica e socioeconômica de cada país e empreendimento (Borges, 2008).

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação significa analisar seu comportamento térmico e compará-lo com critérios de referência baseados nas necessidades dos usuários e nas condições climáticas a que a edificação está sujeita. As intervenções do meio externo estão relacionadas às variáveis climáticas ambientais (temperatura, umidade, ventilação e radiação solar) e as do meio interno, ao comportamento dos usuários (uso de máquinas e equipamentos; manuseio de janelas e cortinas; acionamento de sistemas artificiais, como iluminação e condicionamento de ar) (Lamberts *et al.*, 2010).

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), o processo de avaliação do desempenho térmico de edificações pode ser realizado nas etapas de projeto ou após a construção da edificação. Para a fase de projeto, são realizadas simulações computacionais e análises dos processos construtivos, enquanto que para a construção finalizada, podem ser realizadas medições *in loco* de temperatura.

As condições térmicas no interior do edifício habitacional devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. O valor máximo diário da temperatura do ar no interior de recintos de permanência prolongada como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

O conforto térmico, tomado como uma sensação humana, está situado no campo subjetivo e depende, além de fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica; e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (Lamberts *et al.*, 2010).

O conforto térmico de um ambiente está relacionado ao nível de satisfação que uma pessoa tem em relação ao ambiente em que está inserida. Fatores como o próprio indivíduo, a resistência térmica da vestimenta, a velocidade do ar, a umidade relativa e a temperatura influenciam no conforto. Lamberts *et al.* (2016) cita que o conforto térmico está baseado em

três fatores: a satisfação do ser humano ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; a produtividade do ser humano; e a conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente. A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) destaca alguns parâmetros capazes de produzir conforto térmico para as pessoas.

Os materiais construtivos possuem grande influência no desempenho térmico e energético de uma edificação. Devido a isso, torna-se necessário conhecer as trocas de energia da edificação com o meio externo, visando à adequação do projeto para atendimento a requisitos de conforto térmico (Lamberts *et al.*, 2016).

Os materiais e elementos construtivos se comportam em função de suas propriedades térmicas. A norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) fornece tabelas com as principais propriedades térmicas dos materiais que compõem os elementos construtivos e apresenta os métodos de cálculo para elementos homogêneos e heterogêneos, de transmitância térmica, fator solar e atraso térmico.

Nas edificações, os isolamentos térmicos funcionam barrando a transferência de calor através do fechamento. O tipo de cobertura contribui significativamente no desempenho térmico, principalmente por impedir a incidência da radiação solar direta. O contato com o solo influencia na transmissão de calor através da fundação, podendo contribuir bastante no desempenho global da edificação.

A absorvância à radiação solar tem relação com o poder de absorção de calor de uma superfície quando a radiação incide sobre esta. É um parâmetro utilizado na avaliação do nível de desempenho térmico da envoltória segundo as diretrizes da norma NBR 15.575:2013. E a ventilação regula a temperatura interna de uma construção por meio da troca de ar pelas aberturas. De acordo com Costa (2015), o isolamento térmico de construção em um container acaba sendo uma das etapas mais importantes para ser realizada, visto que o aço, material no qual o container é formado, apresenta alto fator de condução de calor.

A avaliação do desempenho térmico por meio de simulações numéricas permite obter o comportamento térmico da edificação, considerando diferentes cenários, modelando condicionantes de clima, materialidade, fatores de ocupação e equipamentos, podendo favorecer à construção de uma edificação eficiente, inclusive com redução de gastos em energia (Lamberts *et al.*, 2016). Para a realização das simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico, recomenda-se o emprego do programa *Energy Plus*. O software é um dos programas existentes no mercado que permite realizar simulações de carga térmica e eficiência energética.

3. Metodologia

Um quiosque é uma estrutura isolada, geralmente composta por elementos pré-fabricados e facilmente removíveis, destinada a servir alimentos ao público. De forma geométrica simples, os quiosques construídos com containers metálicos se mostram como uma solução de rua moderna, que se transforma ao ser aberto e ter suas funções reveladas, criando uma conexão com o meio ambiente. O projeto é também eficiente e funcional, com características compactas, robustas, de fácil manutenção e à prova de vandalismo. Os elementos internos podem ser adaptados segundo as necessidades conforme a destinação.

O presente estudo trata dos desafios do uso do aço utilizado na construção de quiosques executados com chapas de containers marítimos. Como estudos de caso foram selecionados dois quiosques, que permitem analisar no contexto real, conforme metodologia proposta por Yin (2015), ambos do segmento alimentício, na cidade de Brasília, construídos com container marítimo e possuem forma geométrica simples. O *Quiosque A* está localizado no Setor de Clubes Sul e o *Quiosque B* no Lago Sul, ambos com as mesmas características estruturais e bioclimáticas. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), o local está inserido na zona bioclimática 4. A Figura 1 apresenta uma vista geral do quiosque A e B, respectivamente.

Figura 1 - Vista geral do quiosque A (a) e B (b), respectivamente.



Fonte: Autores.

A análise do desempenho e das propriedades térmicas do objeto de estudo utilizou o método de simulação computacional definido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005), conforme metodologia utilizada por outros pesquisadores como Ataíde e Souza (2009) e Viana et al. (2019). Foi definida a área e o sombreamento de aberturas e estratégias passivas de condicionamento e utilizou-se o software *Energy Plus*. Adaptações ao método de simulação tiveram que ser feitas para a avaliação do desempenho dos quiosques, já que a NBR 15575 contempla somente edificações residenciais.

a) Quiosque A

O *Quiosque A* foi inaugurado em novembro de 2020 e apresenta arquitetura moderna e sustentável, construída a partir da reutilização de container marítimo, composto por cozinha vitrine com balcão de atendimento, tendo uma área total de 7,29 m². É uma construção racionalizada, caracterizada pela velocidade de construção e baixo custo, permitindo, inclusive, remoção para outro local. Encontra-se em um dos espaços públicos mais movimentados e modernos da cidade, localizado no Setor de Clubes Sul, no shopping Pier 21. Possui largura de 3,00 metros e profundidade de 2,43 m, construído com chapas de aço, revestido com gesso acartonado e lã de rocha, com pintura esmalte interna e externa, está localizado na fachada mais ensolarada e por isso foi utilizado dois protetores solares com uso de chapas dobradas.

b) Quiosque B

O *Quiosque B* é uma construção racionalizada que se encontra em um posto de gasolina, localizado ao lado de uma loja de conveniência na QI 9, no Lago Sul, em Brasília. Apresenta arquitetura moderna e sustentável, construída a partir da

reutilização de container marítimo, com largura de 3,00 metros e profundidade de 2,43 m. O quiosque é do ramo alimentício de delivery de sanduíches artesanais e foi inaugurado em dezembro de 2020.

3.1 Avaliação do desempenho térmico

A metodologia proposta no presente estudo considerou os critérios estabelecidos para a avaliação do desempenho térmico mínimo proposto pelas normas ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 16401-2 (ABNT, 2008), que consideram parâmetros para transmitância térmica de paredes externas e coberturas, bem como as exigências de desempenho relacionando à temperatura interna e externa dos quiosques.

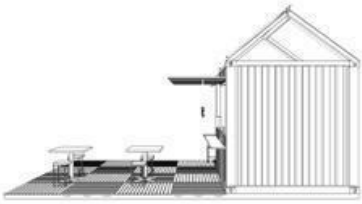


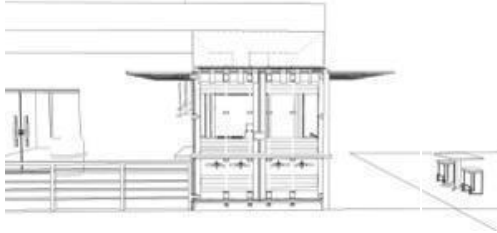
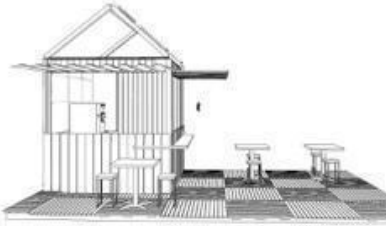


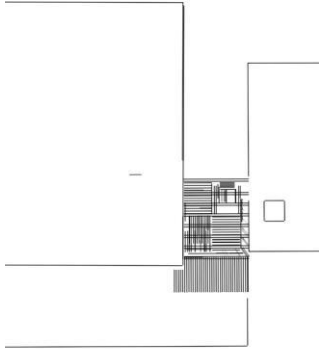
Os estudos de casos foram simulados no programa *Energy Plus* (versão 9.5.0), baseados na proposta apresentada por Lawrence (2008), que apresenta os principais elementos para a simulação numérica.

A avaliação do desempenho térmico do modelo considerou as condições climáticas da zona bioclimática brasileira 4, prevista na parte 6 da norma de desempenho térmico NBR 15220-3:2005. Como não há critérios estabelecidos para estabelecimentos comerciais, foi necessário observar os critérios da norma de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575 (ABNT, 2013). Segundo esta norma, deve-se desconsiderar a presença de fontes internas de calor na análise de desempenho térmico, uma vez que está sendo considerada apenas a envoltória.

a) Definição da modelagem geométrica

Para ser realizada a modelagem geométrica do estudo de caso utilizando o programa *Energy Plus*, foi necessário identificar as características predominantes dos quiosques, bem como as fachadas e a cobertura, representadas na Tabela 1. Os quiosques avaliados possuem características semelhantes em relação às aberturas das janelas fechamentos e metragem, contudo, em relação à cobertura, o *Quiosque A* está totalmente exposto ao sol e o *Quiosque B* possui uma cobertura extra para sombreamento em aço de container, com área de 110 m², criando uma grande varanda aberta.

Tabela 1 - Vista das fachadas e cobertura dos quiosques A e B.

| | <i>QUIOSQUE A</i> | <i>QUIOSQUE B</i> |
|--------------------------|---|---|
| FACHADA LATERAL ESQUERDA |  |  |
| FACHADA FRONTAL |  |  |
| FACHADA LATERAL DIREITA |  |  |
| COBERTURA |  |  |

Fonte: Autores.

Para embasar a análise global do desempenho térmico da edificação, alguns parâmetros de construção foram adaptados para viabilizar a simulação numérica. Considerou-se diferentes combinações, buscando opções que pudessem melhorar o desempenho térmico de quiosques construídos em aço de container para as condições climáticas de Brasília, baseado nas pesquisas bibliográficas realizadas.

Os quiosques avaliados possuem características semelhantes em relação às aberturas das janelas fechamentos e metragem, contudo, em relação à cobertura, o *Quiosque A* está totalmente exposto ao sol e o *Quiosque B* possui uma cobertura extra para sombreamento em aço de container, com área de 110 m², criando uma grande varanda aberta.

Para embasar a análise global do desempenho térmico da edificação, alguns parâmetros de construção foram adaptados para viabilizar a simulação numérica. Considerou-se diferentes combinações, buscando opções que pudessem melhorar o desempenho térmico de quiosques construídos em aço de container para as condições climáticas de Brasília, baseado nas pesquisas bibliográficas realizadas.

Na análise de desempenho térmico, considerou-se seis cenários, com diferentes sistemas construtivos para teto (cobertura) e parede (vedação), propondo diferentes combinações para alcançar melhores opções de desempenho térmico para os quiosques em aço.

Na Tabela 2 constam as descrições dos materiais utilizados nas simulações. A especificação descrita como aço refere-se ao próprio container marítimo que em todas as simulações recebem tratamento com aplicação de primer anticorrosivo tipo zarcão e pintura esmaltada na cor clara (branco) ou escura (preto fosco). Este uso predominante da cor escura tem como objetivo apresentar as características reais da maioria dos containers utilizados na cidade, buscando uma proposta estilo industrial.

A Tabela 2 apresenta os materiais construtivos utilizados para a realização da simulação numérica, descritos em teto (cobertura) e parede (revestimento externo), sendo considerados seis cenários incluindo os existentes para os quiosques A e B.

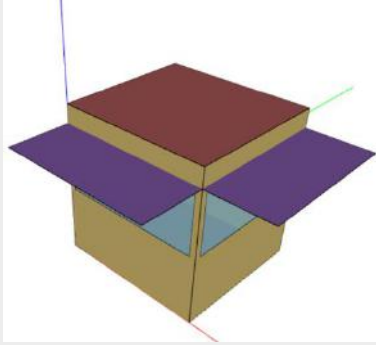
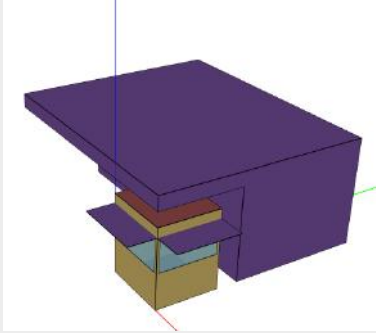
O cenário I corresponde à situação tipo do container, ou seja, sem nenhum tratamento térmico. O cenário II foi desenvolvido para entender como se comporta uma construção convencional nas condições climáticas proposta. O cenário III são as condições do quiosque A, e no cenário IV foi proposto o uso de pintura na cor clara. Para o cenário V buscou-se inserir elementos de isolamento térmico e no cenário VI foi proposto as condições do quiosque B. Todos os cenários, com exceção do IV, foram na cor preta.

Na cobertura, denominado teto, utilizou-se apenas o aço ou ainda o acréscimo de telha termo acústica. O cenário II não considerou o uso do container, utilizou-se um sistema construtivo convencional, com laje de cobertura em concreto, piso porcelanato e paredes em tijolo cerâmico de 15 cm. No cenário III o container recebeu uma placa de gesso acartonado com lã de rocha. O cenário V recebe uma telha termo acústica com EPS (poliestireno expandido). O cenário VI possui uma espécie de marquise de sombreamento.

Para o desenvolvimento da modelagem geométrica dos cenários I a V, foi feito o modelo utilizando-se o software *Sketchup* para definir a cobertura, aberturas e fechamentos. Para efeitos de consistência da modelagem, foi considerado um modelo tipo na simulação (Tabela 2), com medida de 3 metros de comprimento por 2,43 metros de altura. O comprimento de 3 metros corresponde a meia chapa de um container cujo tamanho total são 6 metros. Podemos observar que foram considerados em dois lados do quiosque um vão aberto, localizado nas fachadas norte e oeste, representado pela cor azul e uma área de sombreamento também em aço, representada pela cor roxa.

No cenário VI, o modelo tipo padrão foi mantido, porém foi acrescida uma grande área de cobertura, que retrata a condição real construtiva do *Quiosque B*. Essa cobertura é em aço de container marítimo, com medidas de 11 metros de largura por 10 metros de comprimento e está sobre o quiosque.

Tabela 2 - Sistemas construtivos utilizados na simulação numérica.

| CENÁRIO | MATERIALIDADES | MODELAGEM GEOMÉTRICA |
|---------|---|---|
| I | Teto – aço Parede – aço com pintura esmalte escura |  |
| II | Teto – concreto Parede – tijolo cerâmico + reboco e pintura | |
| III | Teto – aço Parede – aço com gesso acartonado + lâ de rocha | |
| IV | Teto – aço Parede – aço com pintura esmalte clara | |
| V | Teto - aço com telha termo acústica Parede – aço | |
| VI | Teto – aço + área sombreamento Parede - aço com pintura esmalte escura |  |

Fonte: Autores.

b) Perfil de ocupação e densidade de potência de iluminação e equipamentos

O perfil de ocupação e a densidade de potência de iluminação e equipamentos são dados de entrada que devem ser configurados nos primeiros passos do *Energy Plus*. As atividades que o homem realiza em um determinado ambiente produzem alterações na composição do ar que o envolve.

Por isso, o perfil de ocupação foi determinado em função da densidade horária da distribuição de pessoas no período de funcionamento dos quiosques, considerado entre 11 e 23 horas, para ambos os quiosques. Por terem a mesma quantidade de pessoas trabalhando no local, o valor obtido para o perfil de ocupação foi de 0,32 pessoas/m² calculado pelo programa *Energy Plus*. Os dados da iluminação dos quiosques, medidos pela densidade de potência de iluminação e equipamentos, obtidos por zona térmica e tipos de luminárias empregadas, são obtidos pela NBR 5413, que estabelece a iluminância mínima para o ambiente. Foi usado como potência o valor de 7,64 W/m² para os quiosques A e B.

c) Caracterização dos componentes construtivos

Para a simulação dos cenários propostos foi necessário obter as propriedades térmicas de cada material construtivo, conforme apresentado pela NBR 15220-2:2005, bem como as espessuras utilizadas. Para as simulações, considerou-se valores de resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas (Rar) nas paredes e tetos, entre o aço e o isolamento térmico (quando existente, pois os mesmos possuem dois grandes vãos em duas fachadas).

De acordo com a Tabela 2, o tijolo cerâmico foi usado no cenário II e o aço foi utilizado nos cenários I, III, IV, V e VI. O gesso acartonado e lã de rocha estão presentes no cenário III e o concreto normal foi utilizado como teto (cobertura) no cenário II.

Para os cálculos das coberturas em chapa de aço ou tipo sanduíche, consideradas nas simulações, foram utilizados os valores de espessuras, condutividades térmicas, densidade e calor específico apresentados na Tabela 4.

A lã de rocha, por ter propriedades de isolamento térmico, foi usada no cenário III. Ela possui espessura de 0,03 m; condutividade térmica de 0,045 W/m.K; massa específica de 100 kg/m³; calor específica de 750 cal/g °C (NBR 15220: 2005).

A absorvância solar das superfícies opacas de cores claras ou escuras corresponde a 60,3 e 97,7, respectivamente, conforme valores apresentados por Dornelles (2008). A especificação de tinta acrílica opaca na cor escura (preta) foi usada em quase todos os cenários (I, II, III, V e VI) por ser a cor predominante nos projetos que utilizam containers, remetendo a um estilo mais industrial, ficando a cor clara apenas na simulação do cenário IV.

A taxa de renovação de ar é definida como a quantidade de vezes que certo volume de ar pode ser variado e totalmente substituído em um determinado intervalo de tempo e em um mesmo espaço. Foram utilizados os dados da taxa de renovação de ar nos dados de entrada do *Energy Plus* com uma taxa de 1 ren/h e 5 ren/h, conforme proposto na NBR 15575 (ABNT, 2013). As simulações numéricas com diferentes taxas de renovação de ar não geraram variações significativas nos resultados do estudo realizado por Viana *et al.* (2019) para três zonas bioclimáticas litorâneas brasileiras. Obteve-se uma variação de 0,7%, modificando o tamanho das aberturas em até 1/3 na área inicial das aberturas, ou seja, uma diferença mínima. Foi observado que o aumento da temperatura se deu em função do aumento da área envidraçada, que potencializa o efeito estufa.

Como as taxas de renovação do ar são fixas, a modificação no tamanho da abertura não afeta diretamente a ventilação natural, mas implica em uma variação na temperatura interna dos ambientes devido ao aumento da área envidraçada. Após as configurações e o preenchimento de todos os dados de entrada do programa *Energy Plus*, será possível chegarmos aos dados de saídas: temperatura e umidade relativa do ar, conforme as necessidades deste estudo.

d) Aberturas

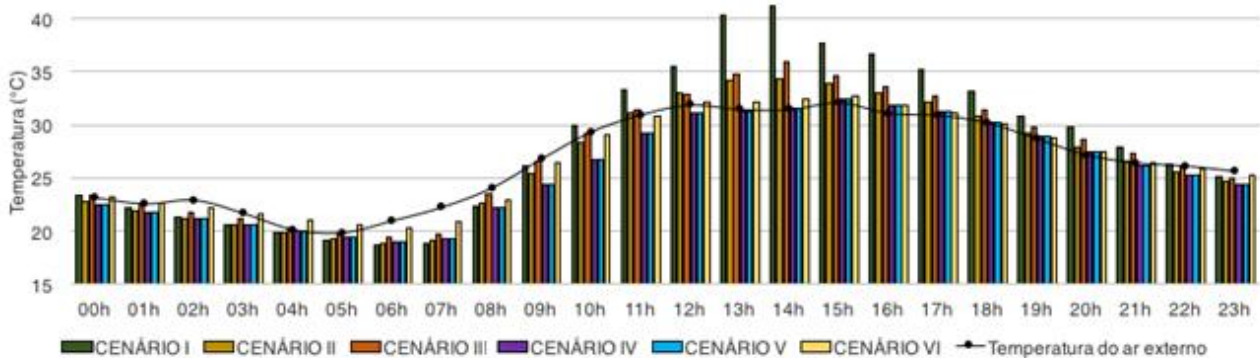
Para as simulações, é necessário que os ambientes de permanência prolongada devam ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação local. O Código de Edificações do Distrito Federal - COE (2018) estabeleceu que os vãos de iluminação e aeração devem corresponder respectivamente a 1/8 e 1/16, ou seja, as aberturas para ventilação devem ser superiores a 6,25% da área do piso. Quando não houver exigências de ordem legal de um determinado território para a implantação da obra, devem ser adotados os valores indicados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

4. Análise e Discussão dos Resultados

O parâmetro para avaliação do desempenho térmico definido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) é uma comparação entre a temperatura interna e externa da edificação em dias típicos de verão e inverno. O critério utilizado na análise foi o nível mínimo de desempenho.

A Figura 2 apresenta o resultado das simulações realizadas para os seis cenários em um dia típico de verão durante 24 horas. Observa-se que, entre 9 e 21 horas, a temperatura dos seis cenários ficou acima de 26°C, mostrando claramente que a zona bioclimática 4, onde Brasília está inserida, apresenta uma temperatura alta, para os diferentes sistemas construtivos propostos.

Figura 2 - Resultado da simulação da temperatura (°C) para os seis cenários propostos durante 24 horas em um dia típico de verão.

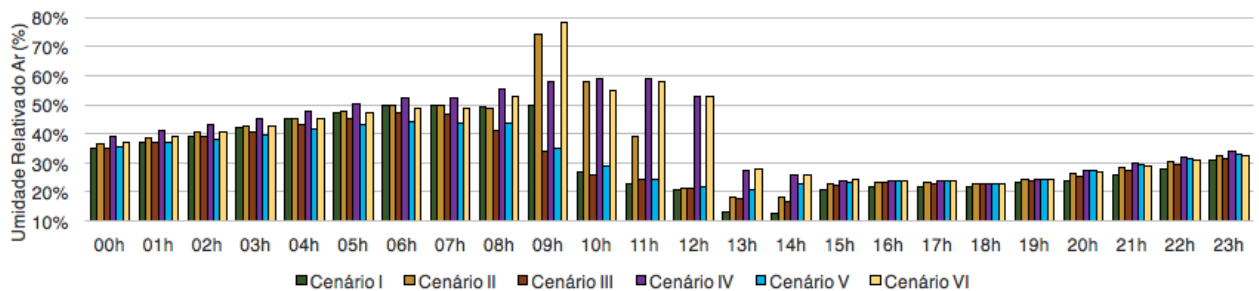


Fonte: Autores.

No período das 13 às 14 horas, o cenário I, composto por parede em aço de container com tinta esmalte na cor escura, atingiu uma temperatura próxima a 40°C e foi o que apresentou a maior temperatura das 9 às 00 horas.

Foram feitas simulações da umidade relativa do ar no verão para os seis cenários propostos. A Figura 3 apresenta o resultado da umidade relativa do ar, em %, durante 24 horas para um dia típico de verão. A umidade relativa do ar encontrada variou consideravelmente principalmente para os cenários IV e VI, em que no primeiro utilizou-se pintura na cor clara e no último uma área de sombreamento, fatores que podem ter sido responsáveis por esse aumento na umidade.

Figura 3 - Resultado da simulação da umidade relativa do ar (%) para os seis cenários propostos durante 24 horas em um dia típico de verão.



Fonte: Autores.

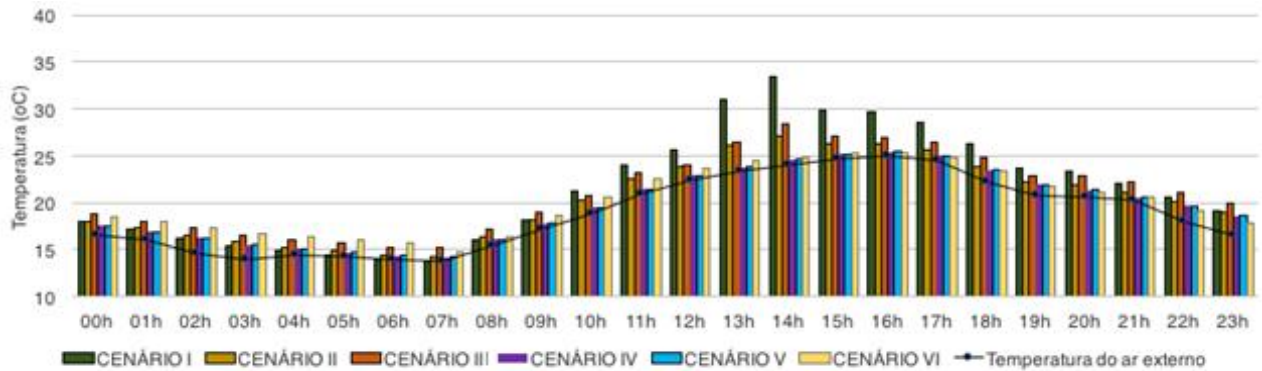
Observa-se que a umidade relativa do ar ficou abaixo de 20% das 13 às 14 horas para os cenários I, II e III, compostos respectivamente, por pintura escura, tijolo cerâmico e gesso acartonado com lã de rocha.

A NBR 16401 (ABNT, 2008) define temperaturas operativas internas que variam de 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%). Contudo, considerando os critérios de conforto térmico da NBR 16401 (ABNT, 2008) nos períodos mais quentes, os cenários III e VI, mesmo com adição de isolamento em lã de rocha e a cobertura adicional de proteção solar, respectivamente, também apresentam certo nível de desconforto térmico no ambiente interno. No período mais crítico, entre 13 e 16 horas, onde são medidos os menores índices de umidade relativa (abaixo de 35%), foram alcançadas temperaturas acima de 30°C.

A NBR 16401 (ABNT, 2008) recomenda também estudar um dia típico de inverno na análise do desempenho através da simulação numérica. A Figura 4 apresenta o resultado do comportamento das temperaturas dos seis cenários propostos,

durante 24 horas, para um dia típico de inverno. Observa-se que a temperatura ficou próxima de 24°C, para a maioria dos cenários, entre 13 e 17 horas.

Figura 4 - Resultado da simulação da temperatura (°C) para os seis cenários propostos durante 24 horas em um dia típico de inverno.



Fonte: Autores.

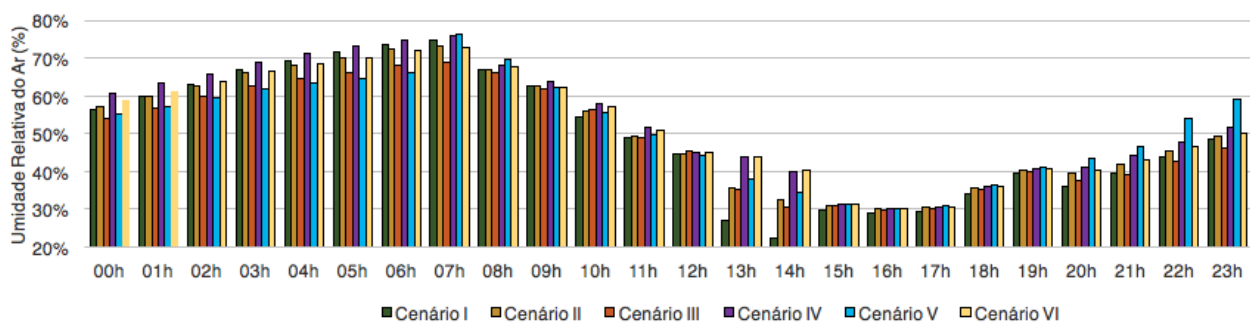
No cenário I, a temperatura ficou bem acima dos demais cenários no período de 13 e 14 horas, alcançando valores acima de 30°C. Tal fator pode ser observado, possivelmente, pela falta de tratamento térmico na envoltória deste cenário associado ao clima da região, localizada na zona bioclimática 4, em que mesmo no inverno, é bem elevada.

No cenário II, cujo sistema construtivo proposto é o convencional, observa-se que no período das 13 às 14 horas a temperatura também foi elevada, acima de 24°C. Todos os cenários apresentaram temperatura abaixo de 20°C das 00 horas até às 09h.

Observou-se que a temperatura mínima no inverno ficou abaixo de 15°C entre 5h e 7h para os cenários I, IV e VI. Na madrugada todos os cenários propostos ficaram abaixo de 20°C, demonstrando que a temperatura no interior do container não oferece conforto no inverno.

Analisando-se a umidade relativa do ar no inverno dos seis cenários, a Figura 5 é o resultado dos seis cenários simulados pelo *Energy Plus* dentro das 24h. Foi identificado que nos intervalos de 00h às 10h a umidade relativa do ar estava acima de 40%. No intervalo das 13h às 17h, a umidade relativa do ar ficou abaixo de 30%. No horário das 14h, o cenário I teve uma queda elevada da umidade relativa do ar, isso ocorreu pela incidência solar emitida diretamente e ausência do tratamento térmico na envoltória do quiosque.

Figura 5 - Umidade relativa do ar (%) nos diferentes cenários em um dia típico de inverno.



Fonte: Autores.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), um nível considerado aceitável para a umidade relativa do ar deve estar acima dos 30%. Para o cenário I, podemos observar que, de acordo com a Figura 7, a umidade relativa do ar é crítica tanto às 13 como às 14 horas onde ficou bem abaixo de 30%.

A NBR 16401 (ABNT, 2008) define temperaturas operativas internas para os períodos mais frios que variam de 21,0°C a 23,5°C (para umidade relativa de 60%), e 21,5°C a 24,0°C (para umidade relativa de 30%). Conforme apresentado nas figuras 6 e 7, para dias típicos de inverno, a umidade relativa ficou próxima ou acima de 60% em todos os cenários entre 1 e 9 horas da manhã, porém a temperatura, neste mesmo período, ficou abaixo de 20°C, alcançando menos de 15°C, condição desfavorável para o conforto térmico no inverno. Para a umidade relativa de 30%, que ocorreu entre 15 e 17 horas, pôde-se observar que a temperatura alcançou valores próximos de 25°C, acima do considerado ideal para o conforto térmico, segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008).

A Tabela 3 apresenta o resultado obtido através da simulação numérica da transmitância térmica da cobertura e da vedação externa para os seis cenários propostos, bem como quais cenários propostos atendem ou não os requisitos de desempenho mínimo (M), conforme os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica das vedações externas e das coberturas são apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013). Observa-se que, para uma absorvância à radiação solar inferior a 0,6, a transmitância deve ser menor ou igual a 2,3 W/m².K para o sistema da cobertura e, menor ou igual a 3,7 W/m².K para as vedações externas. Assim, a Tabela 6 mostrou que apenas os cenários III e VI atendem à norma segundo os valores máximos admissíveis no quesito de desempenho térmico avaliado pela transmitância térmica dos sistemas de vedações verticais externas e coberturas. Semelhante resultado foi observado por Buges *et al.* (2014) em uma habitação em container ao verificarem que uma cobertura adicional e isolamento térmico nas paredes externas melhoram o desempenho térmico em regiões quentes e úmidas.

Para o cenário III, foi proposto o uso das vedações externas em container associado ao uso de gesso acartonado com lã de rocha e cobertura sem material adicional, apenas o próprio aço do container. Esse resultado positivo pode ter sido alcançado pelo fato de a lã de rocha ser um material isolante térmico. Sua propriedade térmica, segundo os fabricantes da lã de rocha, reduz a troca de calor entre superfícies internas e externas isoladas devido à sua baixa condutividade térmica.

Tabela 3 - Avaliação de desempenho mínimo para a transmitância térmica obtida pela simulação numérica dos cenários propostos.

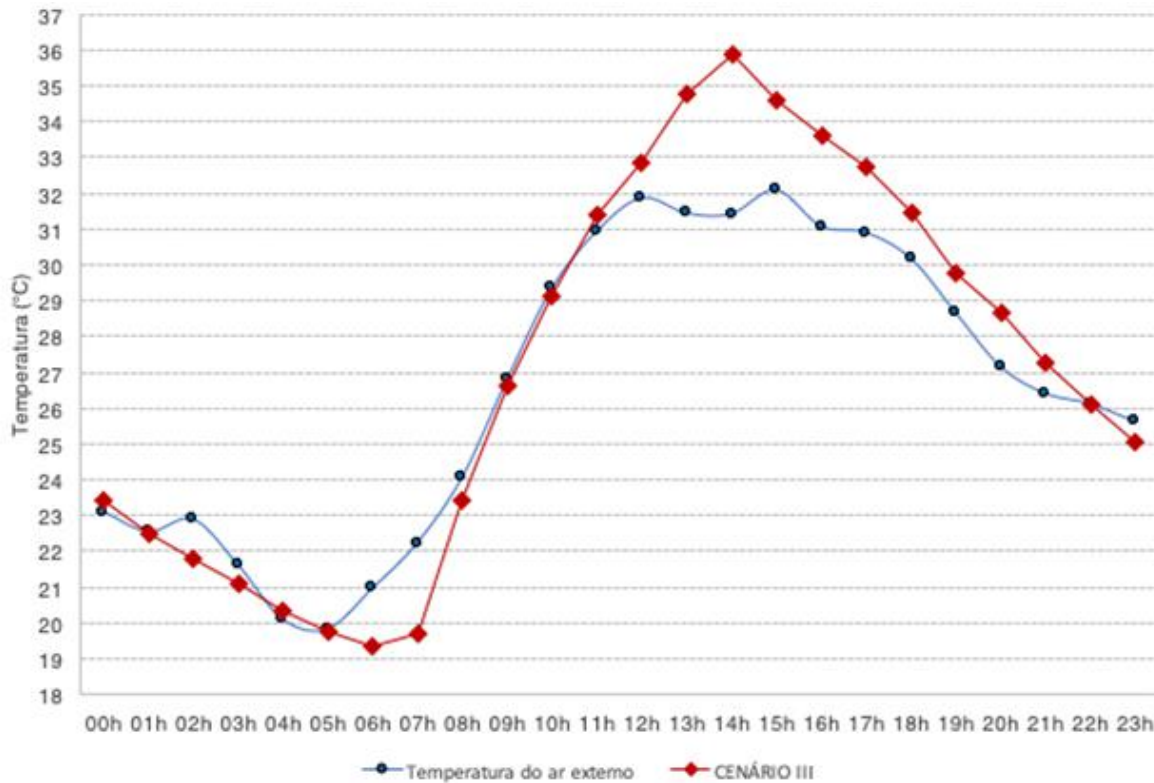
| CENÁRIO | TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (W/m ² . K) | CRITÉRIOS NBR 15575 (ATENDE / NÃO ATENDE) |
|---------|---|--|
| I | Cobertura - 5.21 Vedação externa - 4.89 | NÃO ATENDE NÃO ATENDE |
| II | Cobertura - 5.21 Vedação externa - 4.89 | NÃO ATENDE NÃO ATENDE |
| III | Cobertura - 1.11 Vedação externa - 1.10 | ATENDE ATENDE |
| IV | Cobertura - 5.21 Vedação externa - 4.89 | NÃO ATENDE NÃO ATENDE |
| V | Cobertura - 5.21 Vedação externa - 4.89 | NÃO ATENDE NÃO ATENDE |
| VI | Cobertura - 1.11 Vedação externa - 1.10 | ATENDE ATENDE |

Fonte: Autores.

Costa (2015) observou que os materiais a serem utilizados para o tratamento térmico de containers precisam ser leves e resistentes à torção, esforço comum sofrido pelas paredes e estrutura do container quando do içamento para transporte. Considerando tal premissa, a pesquisadora considerou no seu estudo a avaliação de tinta fria ou refletiva, composta por nano partículas com elevados índices de refletância e emissividade, sendo observada melhora na refletância, enquanto a emissividade sofreu alterações mínimas.

Avaliando a temperatura máxima interna e externa para um dia típico de verão, conforme exigência de desempenho mínimo, onde a temperatura interna máxima tem que ser menor ou igual a temperatura externa máxima, a Figura 6 apresenta o comportamento da simulação numérica para o cenário III, durante 24 horas. Observa-se que a temperatura interna ficou acima da externa nos horários mais críticos do verão, no período da tarde, onde a temperatura atinge valores acima de 30°C, não atendendo os parâmetros ideais da NBR 16401-2 (ABNT, 2008). Esse tipo de comportamento acontece por diversos fatores, além da orientação solar, a forma do volume e os materiais dos fechamentos externos influem no resultado do conforto térmico.

Figura 6 - Simulação da temperatura interna e externa do cenário III proposto durante 24 horas em um dia típico de verão.



Fonte: Autores.

Analisando o comportamento do cenário III, dentro das 24 horas, no inverno, relacionando a temperatura externa e a interna, observa-se que este cenário também não atende às exigências de desempenho. Segundo a NBR 16401-2 (ABNT, 2008), a temperatura interna deve ser maior ou igual à externa, acrescida de mais 3°C no inverno.

Para o cenário VI, foi proposto o uso do aço do container com tratamento em pintura na cor escura em toda a parede externa do container, piso em porcelanato e uma cobertura em aço extra para criar uma área de sombreamento maior que a área do quiosque. O resultado se mostrou eficiente para o desempenho térmico, segundo os critérios da transmitância térmica considerado para a zona bioclimática 4.

Avaliando as condições térmicas para o dia típico de verão, do cenário VI, conforme exigência de desempenho da norma para o nível de desempenho mínimo, a temperatura interna máxima tem que ser menor ou igual à temperatura externa máxima, pode-se observar que a temperatura interna ficou acima da externa em horários mais críticos, entre 13 e 17 horas, quando a temperatura estava acima de 31°C, não atendendo as exigências térmicas no interior do edifício no verão, segundo a NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

Para as exigências de temperatura no inverno, segundo a NBR 16401-2 (ABNT, 2008), o cenário VI, dentro das 24 horas deve apresentar uma temperatura interna maior ou igual a externa acrescida de mais 3°C. Observa-se que essa exigência de desempenho, mesmo no inverno, não foi atendida.

Assim, considerando os critérios de conforto térmico da NBR 16401 (ABNT, 2008) nos períodos mais quentes, os cenários III e VI, mesmo com uso de isolamento térmico em lã de rocha e a cobertura adicional de proteção solar, respectivamente, apresentaram desconforto térmico no ambiente interno, com temperatura elevada ao longo do dia e baixa na madrugada. No período entre 13 e 16 horas, onde são medidos os menores índices de umidade relativa (abaixo de 35%), foram alcançadas temperaturas acima de 30°C. Isso mostra que o cenário III e VI, embora tenham atendido aos critérios de

desempenho segundo os parâmetros da transmitância térmica, ainda precisam de estratégias bioclimáticas para alcançar o conforto térmico do usuário nos horários mais quentes, mesmo no inverno.

Braga (2005) também observou desconforto térmico em Brasília inclusive no inverno. De acordo com Maciel (2002) a cidade de Brasília sofreu modificações ao longo dos anos, apresentando uma evidente elevação da temperatura, acarretando no aumento do desconforto térmico.

Com base nas simulações computacionais realizadas, destaca-se que os cenários I, II, IV e V não alcançaram os valores mínimos esperados para o desempenho mínimo segundo os critérios da transmitância térmica e os cenários III e VI, embora tenham atingido os critérios da transmitância térmica, não atingiram as condições térmicas no interior da edificação.

Com o aprofundamento do estudo sobre o clima da região é possível reduzir ou até mesmo eliminar aspectos ambientais indesejáveis, como temperaturas elevadas, poluição do ar, ventos fortes, entre outros. Para isso, é indispensável a compreensão das variáveis que compõem o clima e o grau de influência de cada uma delas sobre o ambiente construído (Maciel, 2002).

Para a promoção do conforto térmico relacionado ao potencial arquitetônico ou sistemas construtivos, podemos destacar algumas estratégias baseadas na ventilação natural, sombreamento, resfriamento ativo, passivo ou evaporativo e inércia térmica propostas por Sousa (2018): instalação de janelas venezianas, observar direção dos ventos para o posicionamento de janelas, aumentar a área de ventilação, uso de cobogó, promover espaços internos compatíveis com os espaços externos, aumentar o recuo em relação às edificações vizinhas, proteger a face oeste, uso de proteção solar ou brises, aumento da cobertura, rever orientação das fachadas, maior pé-direito, considerar trajetória solar, dimensionar os espaços internos considerando o número de usuários, inserir áreas verdes, telhados verde, uso de manta térmica, uso de materiais que proporcionem isolamento ou absorção térmica.

Sousa (2018) coletou dados considerando o histórico térmico do indivíduo, tempo de exposição semanal, o índice de massa corporal e os efeitos da renovação do ar e utilizou análise de confiabilidade para avaliar estratégias adaptativas para promoção do conforto térmico. A análise de resultados apontou que 78% dos dados estão concentrados nas categorias aquecimento e resfriamento ativo (43%) e ventilação natural (35%). A estratégia mais recorrente foi a instalação de ventiladores, ar-condicionado ou equipamentos mais potentes (31%), seguida da instalação de janelas (8%) e alteração do termostato (7%). A pesquisadora observou que houve uma pequena frequência de estratégias vinculadas ao sombreamento, sugerindo que os participantes da pesquisa não correlacionaram as estratégias climáticas individuais com o potencial arquitetônico.

Rocha (2007) avaliou as condições ambientais de um edifício no interior de Minas Gerais executado em estrutura metálica. Os resultados obtidos a partir de uma avaliação pós-ocupação pelos usuários mostraram que as condições de conforto térmico no interior da edificação durante o período de verão eram insatisfatórias, bem como as condições de conforto acústico, necessitando-se realizar intervenções arquitetônicas com vistas ao estabelecimento dos padrões de conforto mínimos, previstos em normas específicas.

Os usos de ferramentas de simulação computacional são fundamentais para o desenvolvimento da análise de desempenho térmico. Os critérios recomendados pela norma necessitam, às vezes, de medições em dias e horários específicos, levando à inviabilização do procedimento.

Com isso, é fundamental, na construção civil, elaborar planejamento e estudos preliminares visando a reduzir a necessidade de mudanças futuras, melhorar o desempenho, a qualidade e a funcionalidade e o conforto ambiental (térmico, acústico e ergonômico), podendo reduzir prazos e custos.

4.1 Análise geral de quiosques metálicos em Brasília

A utilização de quiosques metálicos como espaço habitável é crescente devido a seu baixo custo, flexibilidade, mobilidade das instalações, durabilidade e reciclabilidade. Contudo, como apresentado aqui, as condições térmicas dessas construções são insuficientes devido ao baixo desempenho térmico da envoltória, para condições semelhantes às aqui consideradas.

A avaliação do desempenho térmico de quiosques via simulação numérica pode contribuir muito para a melhoria do conforto térmico dos ambientes construídos e para a redução no consumo de energia. Utilizou-se de diferentes sistemas construtivos para criar novos cenários baseado no projeto de dois quiosques construídos em aço de containers marítimos na cidade de Brasília. Avaliou-se o desempenho térmico, sob as condições climáticas da zona bioclimática 4, que apresentou problemas de conforto térmico, conforme medidas realizadas *in loco*, principalmente no período de verão.

A Tabela 4 apresenta os resultados da temperatura e da umidade relativa do ar durante um dia típico de verão (11 de janeiro) e um dia típico de inverno (10 de julho) segundo dados do INMET, em Brasília, e para os seis cenários propostos obtidos através da simulação numérica utilizando o software *Energy Plus*. Os valores apresentam a variação de temperatura e umidade relativa do ar durante 24 horas para as estações verão e inverno, para as condições climáticas da zona 4. Os resultados obtidos foram avaliados segundo os critérios propostos na NBR 16401-2 (ABNT, 2008) que especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionam conforto térmico aos ocupantes.

Os dados da temperatura e da umidade relativa do ar em Brasília medidos pelo INMET, apresentados na Tabela 4, não atendem aos valores indicados na NBR 16401-2 (ABNT, 2008) no período de verão e inverno. No verão, a temperatura operativa que indica a sensação de calor ou frio, deve estar entre 22,5°C a 25,5°C para uma umidade relativa de 65% e de 23,0°C a 26,0°C para umidade de 35%. A temperatura ficou bem acima do esperado.

Não foi obtido conforto térmico satisfatório para o usuário em nenhum dos cenários propostos para períodos de verão, segundo os parâmetros determinados pela norma NBR 16401-2 (ABNT, 2008), relacionando temperatura operativa e umidade relativa do ar.

No inverno, os índices de umidade relativa do ar nos cenários II a VI atenderam aos parâmetros ideais da norma, contudo a temperatura não foi atendida em nenhum dos cenários. Os quiosques avaliados atendem aos requisitos mínimos das aberturas para ventilação natural conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013). Conclui-se que, a partir das medições realizadas nos containers através da simulação numérica, os resultados obtidos são insuficientes também para a condição de inverno.

Dada a alta incidência de radiação solar durante o verão, sugere-se que, nos dias quentes e ensolarados, principalmente em horários com incidência da radiação solar direta, com objetivo de minimizar ganhos térmicos, e desta forma, diminuir as temperaturas internas, o usuário promova, como medida complementar, a utilização da ventilação natural, mantendo, quando possível, as janelas abertas. A ventilação e o controle de dispositivos de sombreamento interno estão diretamente relacionados aos comportamentos do usuário, podendo variar de quiosque a quiosque.

Tabela 4 - Resultados da temperatura e da umidade relativa do ar para um dia típico de verão e de inverno em Brasília, segundo o INMET e para os seis cenários propostos, obtidos por simulação numérica.

| | DIA TÍPICO DE VERÃO | | ATENDE A NORMA | DIA TÍPICO DE INVERNO | | ATENDE A NORMA |
|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------|----------------|
| | Brasília INMET | Temperatura | 19,7°C-31,8°C | Não atende | Temperatura | 14°C – 25 °C |
| | Umidade | 20% - 55% | Não atende | Umidade | 30% - 79% | Não atende |
| Cenário I | Temperatura | 18,5°C – 41 °C | Não atende | Temperatura | 13,8°C-26°C | Não atende |
| | Umidade | 12% - 50.4 % | Não atende | Umidade | 22,5%-74.8 % | Não atende |
| Cenário II | Temperatura | 18,7°C-34,2°C | Não atende | Temperatura | 14,2°C –27 °C | Não atende |
| | Umidade | 16,6% - 49,7% | Não atende | Umidade | 30% - 73.3% | Atende |
| Cenário III | Temperatura | 19,3°C-35,7°C | Não atende | Temperatura | 15,1°C–28,2 °C | Não atende |
| | Umidade | 16,6% - 49,7% | Não atende | Umidade | 30% - 73,3% | Atende |
| Cenário IV | Temperatura | 18,2 °C-32,1°C | Não atende | Temperatura | 13,6°C –25,2 °C | Não atende |
| | Umidade | 18,2% - 58% | Não atende | Umidade | 30% - 58% | Atende |
| Cenário V | Temperatura | 19,7°C-31,8°C | Não atende | Temperatura | 14,4°C – 24,9 °C | Não atende |
| | Umidade | 20% - 55% | Não atende | Umidade | 30,3% - 76,3% | Atende |
| Cenário VI | Temperatura | 20,2°C-32,7°C | Não atende | Temperatura | 14°C – 25,1 °C | Não atende |
| | Umidade | 22,8% - 99% | Não atende | Umidade | 30,3% - 72,9% | Atende |

Fonte: Autores.

Diferentes estratégias arquitetônicas são adotadas na literatura para melhoria do desempenho de construções em containers metálicos. Ataíde e Souza (2009) propuseram a colocação de brises nas fachadas leste e oeste e sheds na cobertura. Viana *et al.* (2019) observaram melhor desempenho com uso de cores mais claras no acabamento de superfícies externas e o uso de telha termoacústica ou cobertura verde que proporcionam temperatura interna mais amena, sendo o telhado termoacústico mais favorável.

Os resultados das análises mostram melhorias nas características térmicas dos quiosques em containers através do isolamento térmico com gesso associado à lã de rocha. De Souza et al. (2019) obtiveram melhor desempenho referente à taxa de condução de calor com a lã de vidro, contudo todos os isolantes utilizados apresentaram melhoria no conforto térmico.

O estudo comprovou que as chapas de aço de containers marítimos, utilizadas em quiosques na cidade de Brasília, possui alta difusividade térmica e não atendem ao padrão aceitável de desempenho térmico, sendo necessário o uso de sistemas de condicionamento artificial, aumentando muito a sua demanda de energia. Porém, o uso de isolamento térmico ou sistemas de sombreamento da cobertura podem melhorar esse desempenho.

A cobertura tem papel fundamental no nível de conforto térmico dos quiosques em container. Os resultados mostram que a inclusão de uma área de sombreamento minimiza o fluxo de calor. Semelhante resultado foi observado por Costa (2015)

que utilizou tratamento térmico à condução na cobertura de containers e obteve grande redução no fluxo de calor até que este atingisse a superfície interna, minimizando, inclusive, o calor no interior.

5. Conclusão

O container, por ser em aço, sofre grande influência das temperaturas externas e da insolação, sendo necessário, em alguns casos, o uso de sistemas construtivos que propiciem uma melhoria no seu desempenho térmico. Para isso, é necessário aliar aos containers um design diferenciado e estar de acordo com as normas, os códigos e as regras de ocupação da região.

Na análise de desempenho, através das simulações, observou-se uma grande influência das temperaturas externas e da insolação, no período de inverno e de verão. Pôde-se observar que a temperatura foi bem elevada dentro dos quiosques construídos com uso de containers metálicos e no período em que a umidade relativa foi baixa o ambiente se mostrou desconfortável. Os resultados obtidos evidenciaram a necessidade de sistemas de condicionamento de ar ou ainda materiais construtivos mais eficientes para melhoria térmica dos quiosques com as características e condições de exposição aqui adotadas.

Os cenários III e VI tiveram êxito positivo pelas adaptações desenvolvidas nas simulações quando avaliados segundo os parâmetros da transmitância térmica.

O cenário VI possui uma espécie de cobertura de sombreamento, seguindo as condições reais do quiosque denominado *Quiosque B*. Para o cenário III, foi proposto o uso das vedações externas em container associado ao uso de gesso acartonado com lã de rocha, piso em porcelanato e a cobertura sem material adicional, apenas o próprio aço do container. Esse resultado satisfatório, segundo a transmitância térmica, foi alcançado pelo fato de a lã de rocha ser um material isolante térmico potente, feito com fibras minerais de rochas vulcânicas.

Com base nas simulações computacionais realizadas, destaca-se que os cenários I, II, IV e V não alcançaram os valores mínimos esperados para o desempenho mínimo segundo os critérios da transmitância térmica.

Considerando os critérios de conforto térmico da NBR 16401 (ABNT, 2008) nos períodos mais quentes, os cenários III e VI, mesmo com adição de isolamento em lã de rocha e a cobertura adicional de proteção solar, respectivamente, também apresentou desconforto térmico no ambiente interno. Isso mostrou que, embora tenham atendido aos critérios de desempenho segundo os parâmetros da transmitância térmica, ainda precisam de estratégias bioclimáticas para alcançar o conforto térmico do usuário nos horários críticos, principalmente no período da tarde.

O presente trabalho poderá ser aprofundado por meio de novos estudos de caso, não só no Distrito Federal, mas também em outras regiões brasileiras, bem como realizar outras simulações computacionais empregando diferentes sistemas construtivos.

Referências

- ANSI/ASHRAE. (2004). Standard 55R. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.: Atlanta.
- ANSI/ASHRAE. (2010). Standard 55R. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.: Atlanta.
- Akutsu, M. (1998). *Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. (Tese de Doutorado).
- ASHRAE. (2009). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Handbook Fundamentals. Inc.: Atlanta.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 5943: *container: tipos*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2002). NBR ISO 6346: *container de carga: códigos, identificação e marcação*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). NBR 15873: *coordenação modular para edificações*.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005a.). NBR 15220-2: *desempenho térmico das edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos componentes de edificações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005b). NBR 15220-3: *desempenho térmico das edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 15575: *edifícios habitacionais: desempenho*.
- Ataide, É. S. & Souza, H. A. (2009). Avaliação de Desempenho Térmico utilizando o Programa Energyplus: Estudo de caso do Prédio da Prefeitura Municipal de Mariana – MG. *Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído*, USP, São Paulo.
- Baltar, M. G. (2006). *Redução da demanda de energia elétrica utilizando parâmetros construtivos visando o conforto térmico*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado).
- Braga, D. K. & Amorim, C. N. D. (2004). Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília. In: *I Conferência latino-americana de construção sustentável e X encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*.
- Buges, N. L., Stumpo, L. F. A., Porto, F. H. F. S., López, V. & Andreasi, W. A. (2014). A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil. In: *Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*.
- Borges, C. A. M. (2008). *O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil*. Universidade de São Paulo, São Paulo. (Tese de Doutorado).
- Braga, D. K. (2005). *Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico*. Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. (Dissertação de Mestrado).
- Caia, G., Ventimiglia, F. & Mass, A. (2010). Container vs dacha: The psychological effects of temporary housing characteristics on earthquake survivors. *Journal of Environmental Psychology*.
- Costa, D. C. R. F. (2015). *Contêineres metálicos para canteiros de obras: um estudo de caso*. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. (Dissertação de Mestrado).
- De Souza, P. C., Halmeman, M. C. R., Zavatim, D. C. P. & Do Nascimento, G. A. P. (2019). *Análise do desempenho térmico de containers com e sem tratamento*. Editora científica. DOI: 1037885/210203147.
- Dornelles, K. A. (2008). *Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA*. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, São Paulo. (Tese de Doutorado).
- Félix, D., Branco, J. M. & Feio, A. (2013). Temporary housing after disasters: A state of the art survey. *Habitat International*.
- Gabriel, S. V. (2021). *Container building detailing, construction and thermal analysis*. Technische Universität Wien, Vienna, Austria. (Tese).
- Hong, Y. (2017). A study on the condition of temporary housing following disasters: Focus on container housing. *Frontiers of Architectural Research*.
- Krebs, L. F., Moura, P. W. & Cunha, E. G. (2015). Habitação em container: um estudo paramétrico para a zona bioclimática 3. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e0201590-101>.
- Lamberts, R., Ghisi, E., Pereira, C. & Batista, J. (2010). *Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Lamberts, R., Xavier, A. A., Goulart, S. & De Vecchi, R. (2016). *Conforto e stress térmico*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Maciel, A. A. (2002). *Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios*. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. (Dissertação de Mestrado).
- Moura, C. A. (2019). *Análise térmica de coberturas verdes aplicadas em contêineres*. Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo. (Dissertação de Mestrado).
- Pereira, A. C. (2004). *Simulação dinâmica do comportamento termohigrométrico de superfícies radiantes hidráulicas para aquecimento e arrefecimento ambiental*. Porto, Portugal.
- Rancura, R. L. & Alves, V. M. (2016). Avaliação de desempenho térmico de edificações em contêiner. In: *Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*, ANTAC. Anais.
- Rocha, M. V. M. (2007). Avaliação pós-ocupação de edifício institucional estruturado em aço. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG. Universidade Federal de Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado).
- Sousa, M. C. B. (2018). *Desejo por conforto térmico: estratégias adaptativas e modelos de conforto térmico no semiárido paraibano*. Universidade Federal da Paraíba. (Dissertação de Mestrado).
- Viana, F. S. (2018). *Análise de desempenho térmico em módulo de contêiner marítimo*. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. (Dissertação de Mestrado).
- Viana, F. S., Souza, H. A. & Gomes, A. P. (2019). *Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico*. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, São Paulo.
- Yin, R. K. (2015). *O estudo de caso*. Bookman.